

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennustekniikka

Infratekniikka

2012

Tapio Huhtamäki

UUDET KAIVUMENETELMÄT TELEVERKON RAKENNUSTÖISSÄ



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Turun ammattikorkeakoulu
Tekniikka, ympäristö ja talous
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Infratekniikka
Tapio Huhtamäki

Opinnäytetyö

UUDET KAIVUMENETELMÄT TELEVERKON RAKENNUSTÖISSÄ

Hyväksytty

Turussa _____/_____/2012

Valvoja

DI Pirjo Oksanen

Koulutuspäällikkö

Tekn. tri. Raimo Vierimaa

Tapio Huhtamäki

UUDET KAIVUMENETELMÄT TELEVERKON RAKENNUSTÖISSÄ

Televerkon rakentamisessa haasteina ovat tällä hetkellä kustannusrakenne ja lyhyt työskentelykausi. Maanrakennustöiden kustannuksista suuri osa koostuu pinta- ja kaivutöistä. Rakennustyöt ovat voimakkaasti painottuneet kesän ajalle. Tuomalla käyttöön uusia maanrakennusmenetelmiä pyritään vastaamaan näihin haasteisiin.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä uusiin menetelmiin ja tutkia niiden käyttömahdollisuuksia Suomen oloissa.

Työssä tutkittiin perinteisiä menetelmiä, tavanomaista kaivuuta ja kaapelinaurausta sekä uusia menetelmiä. Uusia menetelmiä ovat maasahojen käyttö, matala-asennustekniikka sekä mikro-ojitus ja -putkitus. Maasahoilla saadaan aikaan kapeampia uria, jolloin pintatöiden määrä pienenee. Niitä voidaan käyttää ympärivuotisesti. Maasahoja ei voida käyttää paikoissa, joissa on vanhoja rakenteita. Matala-asennus tarkoittaa telekaapeleiden sijoittamista nykyisiä matalammalle, noin 30 senttimetrin syvyyteen. Matala-asennuksesta tekee ongelmallisen se, ettei sen käytöstä ole Suomen oloissa kokemusta. Kokemuksia kaivataan siitä, miten katurakenteet kestävät matala-asennuksen. Mikroputkitus on uusi menetelmä rakentaa verkkoa pienissä osissa tarpeen mukaan.

Turun alueen kaupunkien ja Liikenneviraston edustajia haastateltiin työhön liittyen. Haastatteluilla pyrittiin selvittämään kokemuksia ja suhtautumista erityisesti matala-asennukseen. Suhtautuminen on tärkeää selvittää, koska lupien myöntämisen yhteydessä voidaan asettaa ehtoja työn suorittamiselle.

ASIASANAT:

Maanrakennus, tietoverkko, maasaha, mikro-ojitus, mikroputki, kaapeliaura, kaivinkone

Tapio Huhtamäki

NEW TRENCHING METHODS IN TELECOMMUNICATIONS NETWORK CONSTRUCTION

Current challenges in building telecommunications networks are the cost structure and the short working season. A major part of working costs consists of trenching and surface work. Construction work is mostly done in the summertime. New techniques are introduced to meet these challenges.

The aim of this thesis was to learn about new methods and explore their application into use in Finland.

In this project traditional methods such as conventional excavation and cable ploughing were studied, as well as new methods. The new methods studied were use of trenchers, shallow depth installation, micro trenching and micro tubing. Trenchers can be used to dig narrower grooves. The costs of resurfacing a narrow groove are smaller than those of a wider one. Trenchers cannot be used in areas where there are existing structures. Shallow depth installation refers to the installation of telecommunication cables at a more limited depth than the current instructions allow r.e. at about 30 cm. The fact that there is no experience of shallow depth installation in Finland makes it problematic. Experiences are needed especially regarding how street structures withstand shallow depth installation. Micro tubing is a method for building a telecommunication network gradually.

Representatives of the municipalities in the Turku region as well as of The Finnish Transport Agency were interviewed as part of the project. The aim of interviews was to investigate opinions especially as regards shallow depth installation. Attitudes need to be determined since as a permit is granted, preconditions for performing the work may be set.

KEYWORDS:

excavation, telecommunication network, trencher, micro trenching, micro tubing, cable plough, excavator

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 NYKYTILANNE	9
2.1 Yleistä	9
2.2 Verkonrakennuksen työvaiheet	11
2.3 Asennus kaivamalla	13
2.4 Auraus	15
3 VAIHTOEHTOISET MENETELMÄT	19
3.1 Maasahat	19
3.1.1 Ketjukaivuri	21
3.1.2 Jyrsin	24
3.1.3 Kenttäkokeet	26
3.2 Mikro-ojitus	29
3.3 Mikroputkitus	32
4 LUPAVIRANOMAISEN NÄKEMYS	35
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	39
LÄHTEET	41

KUVAT

Kuva 1. Kaapelointityömaa keskusta-alueella	13
Kuva 2. Tavanomainen kaapeliaura	16
Kuva 3. Täryauran osat	17
Kuva 4. Ketjukaivulaitteen pääosat	22
Kuva 5. Jyrsimen pääosat	25
Kuva 6. Erilaisia pyörösahan asennusvaihtoehtoja	26
Kuva 7. RF-Systemin pyörösaha kaivinkoneeseen kiinnitettynä Vehmaalla.	27
Kuva 8. Lännen 8800 ja pyörösaha.	28
Kuva 9. Poikkileikkaus mikro-ojasta	30
Kuva 10. Mikro-ojittaja	32
Kuva 11. Mikroputki	33

TAULUKKO

Taulukko 1. Lupaviranomaisen kanta matala- asennuksiin	36
--	----

1 JOHDANTO

Suomen siirtyessä yhä enemmän palveluyhteiskunnaksi on tärkeää, että kaikkialla on riittävän hyvät laajakaistayhteydet, joiden avulla palvelut ovat helposti ihmisten saavutettavissa. Valtioneuvosto on tehnyt joulukuussa 2008 periaatepäätöksen valtakunnallisesta laajakaistahankkeesta. Hankkeen tarkoituksena on yritystukia antamalla edesauttaa jopa 100 megabitin yhteysnopeudet mahdollistavan laajakaistaverkon rakentamista. Pyrkimyksenä on vuoden 2015 loppuun mennessä rakentaa valokuituverkko, joka ulottuu kahden kilometrin etäisyydelle lähes kaikista (yli 99 %) vakituksessa käytössä olevista asunnoista tai toimipisteistä. (Viestintävirasto 2011.)

Vuonna 2010 teleoperaattorit arvioivat, että 86 prosentilla kotitalouksista oli valokuitu kahden kilometrin etäisyydellä; näistä talouksista 16 prosenttia saisi valokuituyhteyden heti käyttöön. Vuonna 2015 kuituyhteyden arveltiin olevan kahden kilometrin etäisyydellä 94 prosentilla kotitalouksista. (Tietokone 2011.)

Vuoden 2011 joulukuun Tapani- ja Hannu-myrskyt osoittivat ilmakehän ilmastointin haavoittuvuuden maakaapelointiin verrattuna. Pitkät, jopa yli viikon kestäneet, sähkökatkokset aiheuttivat merkittäviä taloudellisia vaikutuksia yrityksille ja yksityisille henkilöille. Pääosin ongelmat olivat sähköverkossa. Televerkon ongelmat aiheutuivat sähkönsyötön katkeamisesta tukiasemille. Maakaapeloinnin käyttäminen olisi vähentänyt myrskytuhojen vaikutuksia. Vahinkojen laajuuden selvityä useat tahot, muun muassa elinkeinoministeri Jyri Häkämies, kehottivat verkkoja hallinnoivia yrityksiä siirtymään maakaapelointiin, jotta vastaavilta tilanteilta vältyttäisiin.

Vuonna 2009 eri maakuntaliitot suunnittelivat laajakaistahankkeen puitteissa noin 500 miljoonan euron investointeja. Tällä summalla verkkoa rakennetaan 40 000 kilometriä. (Viestintävirasto 2011.) Vuonna 2010 arvioitiin, että valokuituverkon laajentaminen kaikkiin koteihin maksaisi 4–6 miljardia euroa (Tietokone 2010).

Elinkeinministeriön mukaan Suomen keski- ja pienjänniteverkon maakaapelointi maksaisi 10–20 miljardia euroa. Näiden verkkojen pituus on 375 000 kilometriä. Suuri osa verkosta tulee uusittavaksi 20 vuoden kuluessa. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2011.)

On siis nähtävissä, että niin tele- kuin sähköverkkojen rakentaminen tulee jatkumaan useita vuosia voimakkaasti. Pyrittäessä huoltovarmoihin ja kokonais-edullisiin rakentamisratkaisuihin on maahan asentaminen hyvä vaihtoehto. Ottamalla käyttöön uusia, innovatiivisia maanrakennusmenetelmiä ja koneita voidaan rakennuskustannuksia pienentää ja samaan aikaan työskentelykautta jatkaa ympärivuotiseksi.

Opinnäytetyössä on tavoitteena tutkia matala-asennustekniikoita ja vaihtoehtoisia kaivumenetelmiä ja erityisesti niiden käyttämisen vaikutuksia verkon rakennuksen kustannuksiin. Tutkimuksen kohteena on erilaiset telekaapelien tarvitsemien urien tekemiseen käytettävät laitteet ja asennuksiin liittyvä mahdollinen mikroputkituksen käyttö.

2 NYKYTILANNE

2.1 Yleistä

Telekaapeleita asennetaan maahan joko suojaputkeen tai maanvaraisesti. Maahan asennettavien kaapeleiden ja suojaputkien asennusmenetelmänä on yleensä joko kaivaminen tai auras. Alan toimijoiden hakiessa entistä kustannustehokkaampia verkonrakennustekniikoita on otettu esille vaihtoehtona erilaisten matala-asennustekniikoiden ja vaihtoehtoisten kaivumenetelmien käyttö. Erityisesti verkko-operaattorit ajavat uusien menetelmien käyttöönottoa. Muualla maailmassa näistä työmenetelmistä ja koneista on paljon käyttökokemusta. Suomessa näitä menetelmiä ei ole juurikaan käytetty.

Perinteisten rakentamismenetelmien käyttäminen aiheuttaa haasteita rakentajille. Työmenetelmistä johtuen rakennustyöt keskittyvät paljolti kesäkaudelle ja sulan maan aikaan. Näiden kuukausien aikana on tehtävä vuoden ajaksi budjetoidut rakennustyöt. Urakoitsijat, työnjohto ja jossain määrissä suunnittelijatkin ovat erittäin työllistettyjä, jopa niin, että kiire aiheuttaa töiden hidastumista. Talvikauden ajaksi urakoitsijoiden on löydettävä korvaavia töitä.

Rakentamiskustannuksista kaivamis- ja päällystyskustannukset muodostavat merkittävän osan, jopa 50–80 prosenttia. Kaivettaessa kaupunkialueella vaihtelee työsaavutus kymmenistä metreistä sataan metriin päivässä. Pienimmillään työryhmä on kaksi miestä ja kaivamiseen soveltuva kone ja maan kuljettamiseen soveltuva ajoneuvo. Jos kaivanto joudutaan tekemään asfaltille, joudutaan asfalttia leikkaamaan kaiken kaikkiaan noin 1,0 metriä. Pahimmissa tapauksissa joudutaan kevyen liikenteen väylät päällystämään koko leveydeltään uudestaan. Suunnittelemalla kaivu- ja asennusreitit huolellisesti voidaan kaivutöiden ja asfaltointien määrään jonkin verran vaikuttaa. Toisaalta joissain kunnissa määritetään sijoitusluvassa kaapelin paikka tarkasti, jolloin kustannuksiin ei pystytä vaikuttamaan.

Työmaan kestolla on suora vaikutus kustannuksiin myös työmaalle anottavan kaivuluvan tai vastaavan kautta. Esimerkiksi Turun kaupungin I maksuluokan

alueella alle 60 m²:n kaivanto maksaa 20 euroa vuorokaudessa. I maksulukan alue käsittää ydinkeskustan. Lisäksi veloitetaan 150 euron tarkastus- ja valvontamaksu. (Turku 2012.) Televerkon rakennustöissä kerrallaan auki olevan kaivannon koko on yleensä alle 60 m².

Televerkkoa täydennetään ja rakennetaan monesti jo olemassa olevan rakennuskannan ja infran sisällä. Alueella asuvat ja liikkuvat ihmiset kokevat töiden haittaavan omaa arkeaan melun, lisääntyneen liikenteen ja maiseman pilaantumisen takia. Mikäli työt saadaan etenemään nopeasti ja työn jäljet saadaan korjattua helposti, saavutetaan etua ympäristön positiivisena suhtautumisena. Samat asiat toki korreloivat kustannusten kanssa. Nopeammin tehdyt työt tuottavat kustannussäästöä.

Erilaiset televerkon rakentamista koskevat ohjeet ja suositukset eivät ota huomioon erilaisia matala-asennustekniikoita. Esimerkiksi kaapelien asennus 30 senttimetrin syvyyteen ei ole normaalitilanteessa mahdollista ohjeiden mukaan ilman erillistä suojausta. Alaa ohjaava ohjeistus ja suositukset on laadittava siten, että ne ottavat huomioon uudet menetelmät. Rakennustiedossa on aloitettu InfraRYL:n tekemän muutosesityksen käsittely vuoden 2012 tammikuussa. Muutosesitys koskee matalakaivuun hyväksymistä työmenetelmänä ennen vuoden 2012 kaivukauden alkamista. Mikäli menetelmä on hyväksytty menetelmä, voi kunnilta saada helpommin luvat matala-asennukseen. (R. Koivula, henkilökohtainen tiedonanto 29.2.2012.)

Olemassa olevien rakenteiden, kuten esimerkiksi tele- ja sähkökaapelien, päälle rakentaminen saattaa aiheuttaa ongelmia tilanteessa, jossa alempana olevia linjoja joudutaan korjaamaan. Tällaiset tilanteet ovat joissain tilanteissa tulleet vastaan nykyäänkin, jos esimerkiksi kaukolämpöputket tai vesijohdot ovat jostain syystä rakennettu päällekkäin. Katselmuksissa on tarkkaan määrättävä paikat mihin kaapeleita saa asentaa.

Ennen kaivutyötä on selvitettävä alueella olemassa olevat rakenteet. Etukäteisselvityksestä huolimatta voidaan yllättäen törmätä rakenteisiin, joiden olemassa olosta ei ollut tietoa. Tällaisessa tilanteessa aiheutetun vaurion laajuus

riippuu työmenetelmästä. Kaivettaessa ei välttämättä aiheudu mitään vauriota. Muilla menetelmillä toimittaessa vaurion aiheutuminen on lähes varmaa.

2.2 Verkonrakennuksen työvaiheet

Standardin SFS 5012 mukaan televerkon maakaapeli on asennettava vähintään 0,4 m:n, ajoradan poikituksessa 0,8 m:n ja pelloilla yleensä 0,7 m:n syvyyteen (InfraRYL 2010, 16212.3). Kaivannon leveys riippuu asennettavien kaapeleiden tai asennusputkien määrästä. Kaapeli voidaan asentaa joko suoraan maata vasten tai suojaputkeen (Onninen 2008, 124).

Putkien ja kaapelien asennus tapahtuu samalla tavalla riippumatta tavasta, jolla kaivanto on tehty. Kaivanto voidaan kaivaa kaivinkoneella tai se voidaan jyrsiä maasahalla. Aurattaessa kaapeleita tai putkia maahan on työvaiheita vähemmän. Kaapeli tai suojaputki asennetaan auran avulla viiltoon, eikä massan vaihtoja tai täyttöjä erikseen tehdä. Auran tekemä jälki painetaan kiinni kaivinkoneella.

Mikäli maasta kaivettavat massat voidaan palauttaa kaivantoon, on huolehdittava, etteivät eri rakeiset massat sekoitu keskenään. Kaivettaessa eri maa-ainekset lajitellaan eri paikkoihin sekoittumisen estämiseksi. Jos kaivanto jyrsitään, ei maamassojen sekoittumista voi välttää. Kun kaivanto on riittävän iso, varmistaudutaan pohjan tasaisuudesta poistamalla irtokivet ja levittämällä pohjalle tarvittaessa asennushiekkakerros (Onninen 2008, 128).

Tasatulle pohjalle asennetaan kaapelit tai asennusputket. Putkien ja kaapeleiden välinen etäisyys toisistaan on 50 mm. Putket ja kaapelit ympäröidään hienorakeisella suojatäytöllä, jonka yläpinta on vähintään 150 millimetriä putken tai kaapelin yläpinnasta mitattuna. Suojatäyttöön käytetään katualueella raekooltaan 0,02–16 mm:n hiekkaa. Katualueen ulkopuolella voidaan käyttää raekooltaan 0,02–2,0 mm:stä hiekkaa. (Suomen kuntaliitto 2002, 155.)

Suojatäytön jälkeen kaivanto täytetään ympäröivillä maa-aineksilla. Jotta vältytään rakenteen painumiselta, varmistetaan rakenteen tiiveys täyttämällä täyttöä 300 mm:n kerroksissa riittävän monta kertaa. Kaapelista varoittava muovinauha asennetaan noin 200 mm:ä kaapelin yläpuolelle maan sisään (Suomen kuntaliitto 2002, 155.) Asennettavat putket ovat joko A- tai B-luokan putkia riippuen asennuspaikasta. A-luokan putket ovat kestävämpiä ja niitä käytetään katualueilla ja teiden alituksissa. (Suomen kuntaliitto 2002, 190.)

Maanpinta entisöidään vastaamaan alkuperäistä tilannetta. Mikäli kaivanto on kaivettu asfaltoidulle alueelle, poistetaan vanhaa asfalttia 200–500 mm kaivannon reunoista ennen uuden asfaltin levittämistä. Tällöin rakenteen saumakohdat eivät ole kohdakkain ja mahdollinen painumavaurio on vähäisempi. Jotkut kunnat eivät salli pituussuuntaista saumaa kevyen liikenteen väylällä. Näin ollen koko väylä on asfaltoitava uudelleen. (Suomen kuntaliitto, 183.)

Varsinaisella viheralueella tulee kaivannon yläosaan 150–200 mm:ä laatuvaatimukset täyttävää multaa. Kerroksen paksuus riippuu nurmikkoluokasta. (Suomen kuntaliitto 2002, 105). Nurmikon siemenet harataan kasvualustan pintaan. Teiden ja ojien luiskiin voidaan tarvittaessa suorittaa kevyt multausta kaivujälkien siistimiseksi.

Mahdollisesti työn aikana puretut reunatuet, laatoitukset ja kourut asennetaan vastaamaan alkuperäisiä ratkaisuja. Työn aikana rikkoutuneet kivet korvataan alkuperäisiä kiviä vastaavilla ehjillä kivillä. (Suomen kuntaliitto 2002, 187.)

Kuvassa 1 on telekaapelityömaa keskusta-alueella Turussa. Kaivantoa tehdään kaivamalla. Jotta katu pysyisi puhtaana, on kaivumassat lastattava suoraan ajo-neuvon lavalle. Osa kaivureitistä on peitetty suojaputken asentamisen jälkeen. Täyttö tiivistetään täryttimellä. Kadun pinnassa olleet luonnon kivet ja betonilaa-tat tullaan käyttämään uudestaan.



Kuva 1. Kaapelointityömaa keskusta-alueella

2.3 Asennus kaivamalla

Kaivamista käytetään asennusmenetelmänä silloin, kun auraamista ei pystytä tekemään (Onninen 2008, 128). Kaivaminen soveltuu hyvin kaupunkien keskustoihin, pieniin kohteisiin ja vaikeisiin kohteisiin. Talvella pitää jäätynyt maa sulattaa ennen kaivutöitä, koska mahdollinen roudan rikkominen voi vaurioittaa olemassa olevia rakenteita. Sulattaminen on kallista ja aikaa vievää, eikä sitä käytetä muuta kuin pakottavissa tapauksissa. (Autokanta 2011.) Sulattamiseen joudutaan turvautumaan esimerkiksi talvella tapahtuvissa vikatapauksissa, jotka on korjattava välittömästi.

Kaivamisen työsaavutus on monesti vähäinen muihin menetelmiin verrattuna. Kaupunkialueella työsaavutus on työvuorossa 40–100 metriä. Työsaavutus voi olla suurempikin vapaammassa tilassa, kuten pellolla tai tien varrella.

Kaivaminen on hyvä ja käytännössä ainoa tarkkaan työhön soveltuva työmenetelmä. Kaivamalla pystytään asentamaan turvallisesti kaapeleita ja putkia paikkoihin, joissa on jo olemassa kaapeleita. Menetelmänä se soveltuu erityisesti tilanteisiin, jossa ei ole tarkkaa tietoa alueen kaapeloinneista tai muista rakenteista.

Televerkon päärakentamismenetelmä on pitkään ollut kaivaminen. Työvoimaa on saatavilla ja vaaditut työsuoritukset ovat yksinkertaisia, joten ne voidaan helposti kouluttaa uusille urakoitsijoille. Kaikki urakoitsijat eivät kuitenkaan ole välttämättä kalustonsa tai muiden seikkojen takia soveliaita käytettäviksi telekaapelien asennuksissa. Telekaapelin asennuksessa vaaditaan urakoitsijalta kykyä toimia turvallisesti vilkkaasti liikennöidyillä alueilla, kuten tiealueilla, kevyen liikenteen väylillä ja jalankulkijoille varatuilla alueilla. Lisäksi urakoitsijan on oltava riittävän rauhallinen ja huolellinen, ettei jo olemassa olevia ja asennettavia kaapeleita vaurioiteta omalla toiminnalla.

Kaivantojen kaivamiseen käytetään kaapelikauhoja. Kaapelikauhojen huulilevyn leveys vaihtelee 250 mm:stä 600 mm:iin (POME 2011). Yläpäästään kauhat ovat leveämpiä, jotta kiinnitys kaivinkoneen puomiin saadaan toteutettua. Kauhan yläpään leveys suojaa myös hydraulisyylintereitä maahan osumiselta. Kauhojen kiilamaisuus myös estää irrotetun maa-aineksen pakkautumisen kauhaan, jolloin kauha ei tukkeudu. (Kauhoja 2010.)

Kaapelin asennussyvyys ja kaivannon leveys vaikuttavat kaivannon poikkileikkauksen kokoon. Jos ollaan asentamassa yhtä 100 millimetrin suojaputkea, muodostuu pienimmän tarvittavan poikkileikkauksen koko seuraavasti:

$$[400 \text{ mm}(\text{syvyys}) + 20 \text{ mm}(\text{kaapeli})] \times [100 \text{ mm}(\text{leveys}) + 50 \text{ mm}(\text{työtila})] = 63\,000 \text{ mm}^2$$

Mikäli kaivanto kaivetaan kaapelikauhalla, jonka huulilevy on 170 mm leveä ja kaivannon yläreunan tasalla kauha oletetaan 350 mm leveäksi. Kaivannon syvyys säilyy edelleen 420 mm:nä. Tällöin kaivannon poikkileikkaus on kooltaan:

$$420 \text{ mm}(\text{syvyys}) \times [(170+350) \text{ mm} / 2](\text{kaivannon leveys}) = 109\,200 \text{ mm}^2.$$

Ylimääräistä irrotettavaa maata poikkileikkauksessa on

$109\,200\text{ mm}^2 - 63\,000\text{ mm}^2 = 46\,200\text{ mm}^2$, joka on prosenteissa

$46\,200\text{ mm}^2 / 63\,000\text{ mm}^2 \times 100\% = 73,3\%$.

Verrattaessa kaivamalla tehdyn kaivannon kokoa esimerkiksi ketjukaivurilla tehtyyn kaivantoon on poikkileikkauksen alassa suuri prosentuaalinen ero. Kuvattu tarkastelu on varsin yksinkertaistettu malli, koska se ei ota huomioon esimerkiksi maasta irtoavia kiviä tai muita suurempia kappaleita. Esimerkki kuitenkin havainnollistaa, että työtavalla, -välineillä ja asennussyvyydellä on erittäin suuri merkitys massatalouden kannalta.

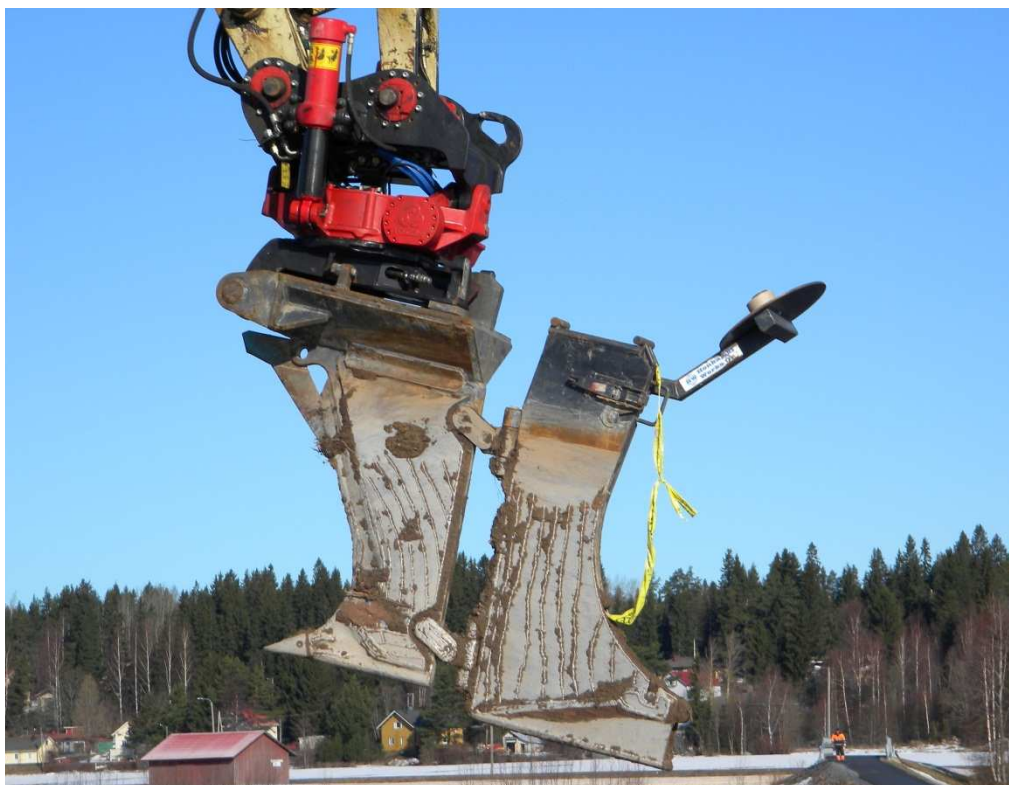
2.4 Auraus

Auraus on nopea tapa asentaa kaapeli maahan. Maahan voidaan asentaa pelkkä kaapeli tai suojaputki, johon kaapeli myöhemmin vedetään. Suojaputken koko aurattaessa on tyypillisesti 40–50 mm. (Onninen 2008, 129.) Aurausta koskevat samat ohjeet asennussyvyydestä kuin kaivamistakin. Jälkitöinä kaapelin aurauksessa on auran tekemän viillon painaminen kiinni ja pintojen entistäminen. Kaapeliuraa ei erikseen täytetä.

Kaapeliauraa liikutetaan nykyään yleensä kaivinkoneella, joka voi olla joko telatai pyöräalustainen. Auran liikuttamiseen voidaan käyttää myös traktoria, jonka perään aura on asennettu (Tiehallinto 1991.) Toimittaessa tela-alustaisella koneella on telat mahdollisesti varustettava kumilapuvin, jottei pintamateriaaleille, kuten asfaltille aiheuteta vaurioita. Kaivinkoneen on oltava riittävän tehokas ja painava, jotta auran vetäminen maan sisällä onnistuu.

Kaapeliaura asennetaan kaivinkoneen puomiin. Auran asentoa säädetään joko aurassa olevalla hydraulisyliinterillä tai kaivinkoneen puomiin kiinnitetyllä pyörittäjällä. Kaapeliauran ohjattavuutta voidaan parantaa liittämällä auraan hydraulisesti käännettävä osa, joka toimii laivan peräsimen tapaan. Aurassa on yleensä

teline varoitusnauhaa varten. Kuvassa 2 on kaivinkoneen puomiin kiinnitetty kaapeliaura.



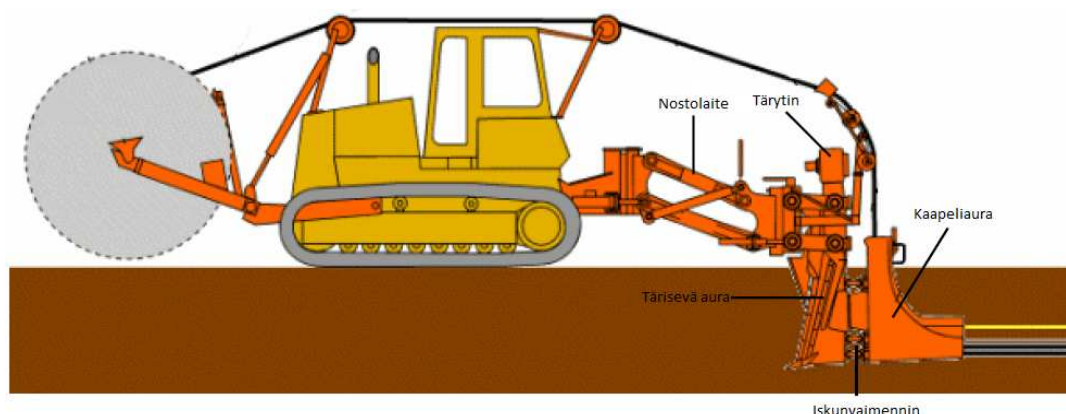
Kuva 2. Tavanomainen kaapeliaura

Kaapeliauroja on kahta tyyppiä; tavanomaisia kaapeliauroja ja täryauroja. Täryauroa käytettäessä saavutetaan muutamia etuja tavalliseen auran verrattuna:

- Käytettävän aurasuuren teho ja koko voi olla pienempi tärinän edesauttaessa maan leikkautumista.
- Tärinä erottaa hienojakoista maa-ainesta, joka kerääntyy kaapeleiden ympärille muodostaen suojarahiekan ja pitäen useita kaapeleita asennettaessa kaapelit paremmin erillään.
- Tärinä pienentää auran ohjaukskaaren ja kaapelin välistä kitkaa, jolloin kaapeli luistaa auran läpi paremmin.

Täryttävät aurat ovat rakenteeltaan monimutkaisempia, häiriöalttiimpia ja kaltevia kuin tavalliset aurat. (Tiehallinto 1991.) Nähtävissä on kuitenkin täryttä-

vien aurojen yleistymisen käytössä (H. Siukkola, henkilökohtainen tiedonanto 27.1.2012). Kuvassa 3 on esitetty täry-auran pääosat.



Kuva 3. Täryauran osat (Lancier Cable gmbh 2012).

Asennettava kaapeli tai asennusputki kulkee ontton kaapeliauran läpi uran pohjalle. Kuvassa 1 on auraamiseen käytettävässä työkoneessa asennettuna laitteet kaapelikelaa varten. Aurattaessa kaapeli kulkee ohjainpyörien kautta koneen yli kaivantoon. Mikäli auraavaan koneeseen ei ole mahdollista kiinnittää kaapelikelaa, puretaan asennettavaa kaapelia reitille esimerkiksi kaapelivauhasta. Lisälaitteena on kaapeliauroihin saatavilla syöttölaitteita, jotka syöttävät kaapelia auran kautta kaivantoon. Jos syöttölaitetta ei ole käytössä, on kaapelia syötettävä käsin. (Sahlins 2012.)

Koska kaapeliauraa vedetään maan sisällä, on auran leveydellä suuri vaikutus vaadittavaan voimaan. Mitä kapeampi aura on, sitä pienemmällä voimalla se kulkee maassa. (Lancier Cable gmbh 2012.) Mikäli asennettavana on vain yksittäinen valokuitukaapeli, jonka halkaisija on maksimissaan muutaman senttimetrin luokkaa, ei ole perusteltuakaan käyttää leveitä auroja. Yleensä kaapeliaurojen leveys vaihtelee 75 mm:stä 160 mm:iin. (POME 2011.) Lisäämällä auran levikepaloja voidaan kaivantoa leventää, mutta valokuituasennuksiin perusleveydet ovat riittäviä (Lancier Cable gmbh 2012.) Kaapeliauroja on saatavilla useita eri kokoja valmistajasta ja mallista riippuen. Kaivinkoneen puomiin kiin-

nitettävät aurat tekevät 700 mm:stä 1000 millimetriin syvää uraa (POME 2011.) Kiinteästi esimerkiksi puskutraktoriin kiinnitetyt tai omalla alustallaan liikkuvat aurat ulottuvat 1400 mm:n syvyyteen (Lancier Cable gmbh 2012). Auraussyvyttä pystytään säätämään nostamalla ja laskemalla auraa.

Jotta auraus on mahdollista, on maaperän oltava riittävän hienorakeista. Jos aurausreitille osuu kiviä, joiden halkaisija on yli 250 mm, hidastuu aurausnopeus. Lisäksi jälkitöiden määrä kasvaa, koska kiviä joudutaan siirtämään pois ja korvaavaa maa-ainesta kuljettamaan paikalle. Kallio ja louherakenteet estävät auraamisen täysin. Kohdissa, joissa auraus ei onnistu, kaapeli asennetaan kaivettuun ojaan tai louhittuun uraan. Louhinnan sijaan voidaan ura sahata kallioon timanttisahalla.(Tiehallinto 1991). Jotta mahdolliset kaivuosuudet pystyttäisiin ennakoimaan ja mahdollisesti kiertämään tai etukäteen kaivamaan, voidaan käyttää esiaurausta. Esiaurauksessa aurataan asennusreitti etukäteen edellä mainittujen seikkojen selvittämiseksi. Esiaurauksen hinta on pieni, vain noin yksi prosentti hankkeen kokonaiskustannuksista. (Johdin 2009.)

Aurausnopeuteen vaikuttaa eniten maaperä, jonne kaapelia aurataan. Jos maaperä on kivistä tai kovaa, esimerkiksi moreenia, hidastuu vauhti huomattavasti. Työsaavutusta pienentää myös muut kaapelit ja rakenteet. Mikäli joudutaan varomaan ja ehkä jopa uudelleen paikantamaan kaapeleita, sitoo se myös työvoimaa ja vaatii aikaa. Käytettäessä täryauraa voi aurausnopeus olla jopa 800 metriä tunnissa (Lancier Cable gmbh 2012).

3 VAIHTOEHTOISET MENETELMÄT

3.1 Maasahat

Maasahaa (*trencher*) pidetään maailmalla yhtenä tärkeimmistä maanrakennuskoneista. Suosion takana on menetelmän soveltuvuus käytettäväksi lähes kaikkialla sekä sen tehokkuus ja edullisuus verrattuna muihin, tavanomaisempiin menetelmiin. (Versalift 2002.) Maasahausta työmenetelmänä on yritetty tuoda Suomeen aikaisemmin jo 1970- ja 1980-luvuilla. Menetelmä ei ole näillä keroilla saavuttanut suosiota, ja tällä hetkellä sen käyttö on vähäistä. (H. Laiho henkilökohtainen tiedonanto 3.4.2012.)

Ensimmäiset maasahat ovat ilmestyneet markkinoille 1800- ja 1900-luvun vaihteissa. Tuolloiset laitteet olivat suuria koneita, joilla pystyttiin kaivamaan useita metrejä leveää ojaa. Toisen maailmansodan jälkeen alettiin kehittää maasahoja, joilla pystyttiin tekemään vain kapea ura ja joista pienimpien käyttäjä kulki jalan koneen takana. Näitä laitteita kutsutaan nimellä *compact trenchers* niiden pienen koon vuoksi. Pian tuotiin markkinoille myös laitteita, jotka kiinnitettiin traktorin perään. Näitä laitteita seurasivat maasahat, jotka olivat oma, erillinen koneensa. (Constructionweek.com 2009.)

Maasahoissa on erotettavissa kaksi tyyppiä. Moottorisahan kaltainen ketjukai-vuri (*chain trencher*) ja sirkkelin kaltainen pyörösaha (*wheel trencher*). Pyörösahan yhtenä mallina voidaan pitää pientä pyörösahaa (*micro trencher*), joka on tarkoitettu erityisesti kaupunkialueella tapahtuvaan rakentamiseen. (Wikipedia 2012.)

Maasahoja voidaan käyttää lähes kaikissa pohjaolosuhteissa ja kaikkina vuodenaikoina. Valitsemalla sopivat hampaat saahan pystytään sahaamaan jopa kalliota. Näin voidaan toimia, mikäli kivi on riittävän pehmeää. Suomessa kallio on kuitenkin useimmiten liian kovaa. Tällöin etenemisnopeus on vain noin 20 metriä vuorokaudessa. Pehmeissä kivilajeissa, kuten kalkkikivessä, etenemisnopeus voi olla jopa 500 metriä vuorokaudessa. Kova kallio kuluttaa hampaat nopeasti. Etuina voidaan pitää menetelmän riskittömyyttä louhintaan verrattuna,

kustannusten pienenemistä kuljetusten määrän pienentyessä ja ajan säästöä. (Pipelines international 2009.) Rakennettaessa televerkkoa pyritään jo reittiä suunniteltaessa kiertämään kallioapaikat. Jos reitti joudutaan viemään kallioalueen yli, varaudutaan kallioasennukseen jo etukäteen. Näin ollen yllättäen eteen tulevaan kallion sahaamiseen ei ole useinkaan tarvetta.

Suomessa maa jäätyy vuosittain ja se aiheuttaa maanrakentamisen hiljenemisen talven ajaksi. Maasahaa voidaan helposti käyttää myös jäätyneessä ja kivisessä maaperässä (Koneurakointi 2010). Käytettäessä maasahaa saadaan työskentelykausi ympärivuotiseksi ja näin saadaan alalla toimivien maanrakennusurakoitsijoiden, operaattorien ja rakennuttajien työtaakkaa pois kesäkaudelta ja yritysten liikevaihto jakaantumaan tasaisemmin koko vuodelle.

Telekaapeleita asennetaan usein teiden ja katujen varsille, ulko- ja sisäluiskiin ja joissain tilanteissa jopa suoraan katurakenteeseen. Nämä rakenteet, samoin kuin Suomessa yleinen moreenimaaperä, saattavat sisältää kiviä ja olla rakenteeltaan erittäin tiiviitä. Tämä ei kuitenkaan estä maasahan käyttöä. Jos pintamateriaalina on käytetty betonilaattaa tai luonnonkiveä, kuten mukulakiveä, ei pintaan kannata sahata uraa, vaan se kannattaa purkaa, koska materiaali voidaan käyttää uudestaan.

Pohdittaessa maasahan hankintaa ja käyttöä on huomioitava, että maasahaukseen soveltuvissa paikoissa voidaan monesti käyttää myös auraamista. Poikkeuksen muodostaa aika jolloin maa on jäässä. Jäätyneeseen maahan ei pystytä auraamaan kaapelia. Auran hankintahinta on huomattavasti pienempi kuin maasahan, työsaavutuksen ollessa kuitenkin vastaava tai suurempi kuin maasahalla.

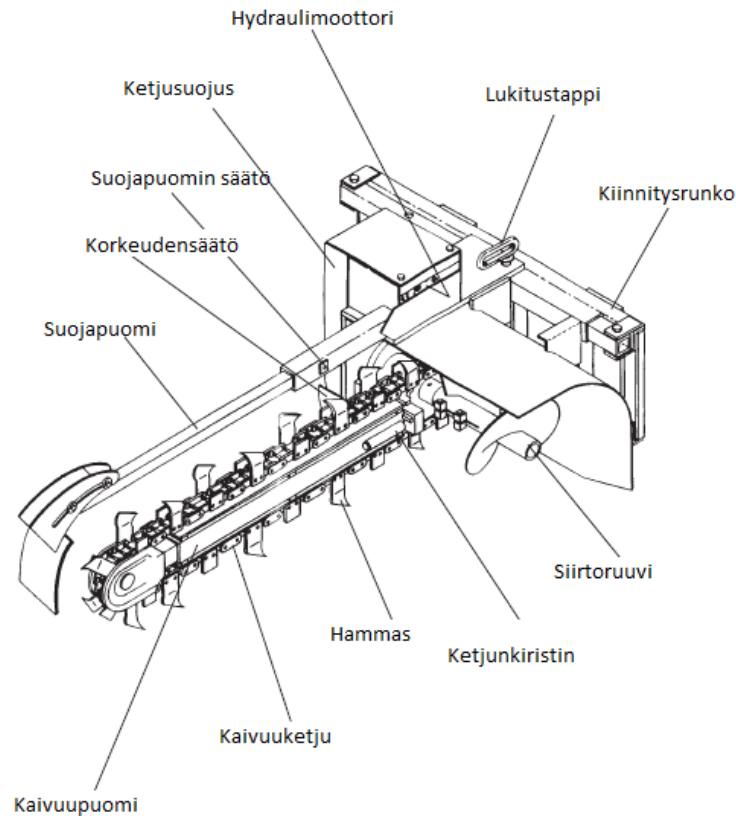
Kaupunkialueella voidaan käyttää pintamateriaalina luonnonkiveä tai betonilaattoja. Nämä materiaalit pystytään useimmiten käyttämään uudelleen. Sen vuoksi ne on uraa sahattaessa poistettava. Mikäli materiaali halkaistaan sahalla, on hankittava vastaavaa pintamateriaalia. Hankintahinnaltaan betonilaatat ja luonnonkivet ovat kalliita. Poistaminen ja uudelleen asentaminen ovat aikaa vievää

käsityötä. Sahauksesta saavutettava säästö voi hävitä tapauksessa, jossa joudutaan ostamaan uutta pintamateriaalia.

3.1.1 Ketjukaivuri

Kaivulaite muodostuu muutamasta pääosasta. Kaivulaitteessa on kaivupuomi, jota pitkin maata leikkaava ja siirtävä ketju kulkee. Kaivupuomin pituudella ja kulmalla maanpintaan nähden on vaikutus kaivannon syvyyteen. Ketjuun kiinnitetään hampaat, jotka irrottavat maa- tai kiviaineksen. Hampaiden koko ja valmistusmateriaali vaikuttavat oleellisesti laitteen työsaavutukseen. Pehmeämpiä maalajeja varten on olemassa kuppihampaita, joiden leikkauskapasiteetti on pieni, mutta jotka siirtävät maa-ainesta hyvin pois kaivu-urasta. Koviin maalajien, roudan ja kivien sahaamiseen on kehitetty hampaita, jotka muistuttavat auton renkaiden nastoja. (Trencor 2012.) Eri hammastusten välillä on vain pieni hintaero, joten kaivettaessa vaihtelevissa pohjaolosuhteissa on perusteltua valita käyttöön sekahammastus, jossa on sekä hyvin leikkaavia hampaita, että kuppihampaita irtaimen maa-aineksen siirtämiseen (H. Siukkola, henkilökohtainen tiedonanto 27.1.2012).

Ketjun ja laipan yläpuolella on puomi, jonka tehtävä on estää irtonaisen maa-aineksen valuminen takaisin kaivantoon pitämällä maa-aines ketjun hampaissa ja estää esimerkiksi jalan tai muun ulkopuolisen esineen osuminen ketjun hampaisiin. Irrotettu maa-aines siirtyy maanpinnalle ketjun nostamana. Ketjun yläpäässä on siirtoruuvi, joka siirtää maa-aineksen sivuun, joko laitteen oikealle tai vasemmalle puolelle. (Bradco 2001.) Kuvassa 4 esitetään ketjukaivurin pääosat.



Kuva 4. Ketjukaivulaitteen pääosat (Bradco 2001).

Ketjua voidaan liikuttaa joko hydraulisesti tai mekaanisesti. Liikutettaessa ketjua mekaanisesti saadaan suurempi osuus moottorin tehosta ohjattua ketjulle. Laitteen käyttö on kuitenkin hydrauliseen laitteeseen verrattuna työlämpää käyttäjän joutuessa käyttämään vaihteita kaivunopeuden muuttamiseen. Lisäksi ketjun kireyttä on säädettävä itse, samoin kuin voitelu on suoritettava käsin. Hydraulisen laitteen käyttäjä pystyy portaattomasti säätämään kaivunopeutta eikä laitetta tarvitse huoltaa niin usein kuin mekaanista. Nykyiset laitteet ovat lähesyneet toisiaan käyttöominaisuuksiltaan niin, että se, kumpaa laitetta käyttää, riippuu enemmän henkilökohtaisista mieltymyksistä. (Constructionweek.com 2009.)

Ketjukaivureista pienimpiä voidaan ohjata maasta niiden liikkua omalla ajomoottorillaan. Suuremmat ketjukaivulaitteet voidaan kiinnittää joko traktoriin tai muuhun vastaavaan laitteeseen tai sitten ne on asennettu omalle alustalleen.

Suurimmat ketjukaivurit, kuten esimerkiksi Vermeer T1255 Commander, painavat jopa 82 600 kg. Tehoa edellä mainitussa ketjukaivurissa on 447 kW. Kaivettavan uran leveys vaihtelee 71 cm:stä 122 cm:iin. Käyttökohteena tällä koneella on kallio-ojitukset, vesijohto- ja viemäryöt. (Several 2012.)

Telekaapeleiden ja putkien asentamiseen soveltuvat pienemmät ketjukaivurit. Suomessa valmistettavaan Avant-merkkiseen pienkuormaajaan on saatavissa ketjukaivulaite, jonka kaivuleveys on 100–150 mm ja kaivussyvyys 900 mm. Tällaisella laitteella pystytään asentamaan telekaapelit tai asennusputket riittävän syväälle. (Avant 2012.) Samankaltaisia ketjukaivureita valmistaa loimaalainen Lännen Tractors, joka valmistaa Multione Nordic -nimellä pienkuormaajia, joihin on kiinnitettävissä ketjukaivulaite. Multione- ketjukaivulaitteet on tarkoitettu kiinnitettäväksi yhtiön omaan pienkuormaajaan. Kaivussyvyys laitteella on 600–1000 mm. Tällaiset pienkuormaajiin kiinnitettävät ketjukaivurit soveltuvat erityisesti talloliittymien kaivamiseen. Runkoreittien kaivamiseen ne ovat liian pieniä. (H. Siukkola, henkilökohtainen tiedonanto 27.1.2012.)

Yhdysvaltalainen Vermeer-yhtiö valmistaa erikokoisia työkoneita, jotka voidaan varustaa erilaisilla työlaiteilla, kuten ketjukaivulaitteella, kuokkakauhalla tai kaapelauralla. Näiden ketjukaivulaitteiden kaivussyvyys on 60 tuumaa eli noin 150 cm. Kaivannon leveys on vähintään 13 cm ja maksimissaan 30 cm. (Vermeer 2012.)

Suomalaisen Lännen Tractorsin valmistamat isommat kaivurikuormaajiin kiinnitettävät ketjukaivulaitteet maksavat noin 15 000 euroa ilman arvonlisäveroa. Näiden käyttökohteena ovat erityisesti runkolinjojen rakennustyömaat. Kaivussyvyys laitteilla on 90–150 cm. Kaivannon leveys on noin 15 cm. Käytettävän ketjun hammastus vaikuttaa kaivannon leveyteen. (H. Siukkola, henkilökohtainen tiedonanto 27.1.2012.)

Ketjukaivurit ovat melko huoltovapaita. Kaikkiin maanrakennuslaitteisiin liittyvien normaalien rasvausten, öljynvaihtojen ja ketjujen kiristelyjen lisäksi on seurattava hammastuksen kiinnityksiä ja kulumista. Mikäli hampaat pääsevät kulu-

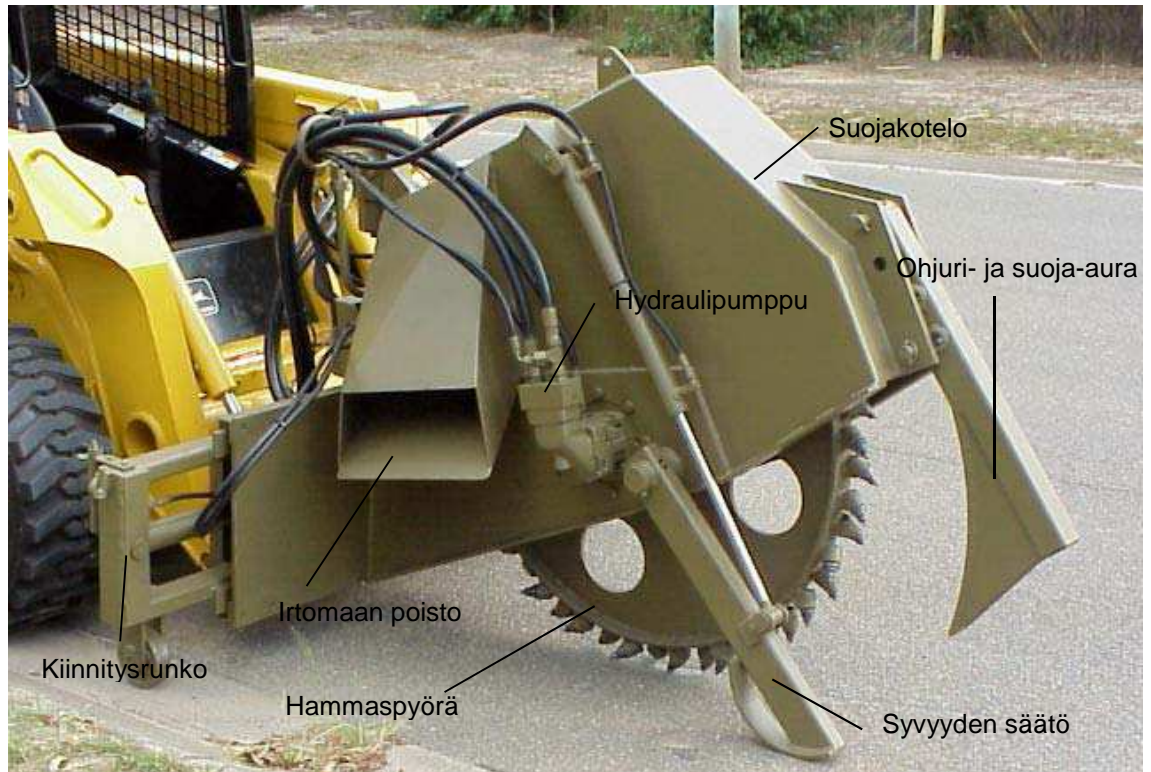
maan liiaksi voidaan joutua uusimaan myös ketju, jolloin kustannukset nousevat. (H. Siukkola, henkilökohtainen tiedonanto 27.1.2012.)

3.1.2 Jyrsin

Rock wheel/ wheel trencher on maasahan tyyppi, jossa sahan teränä toimii hammastettu metallipyörä. Jyrsin tai pyörösaha, kuten sitä joissain yhteyksissä kutsutaan, soveltuu kaikkien maalajien ja kallionkin leikkaamiseen. Rakenteensa vuoksi pyörösahaa käytetään usein kovempien maa-ainesten ja pintamateriaalien leikkaamiseen, koska se soveltuu työhön paremmin kuin ketjukaivuri. Jyrsimen teho perustuu siihen, että se ennemmin leikkaa maan pois edestään toisin kuin ketjukaivuri, joka tekee uraa viilamaisesti raapimalla. (Wikipedia 2012.)

Koska jyrsimen tekninen rakenne on yksinkertainen, on sen käyttö ja ylläpito halpaa. Hammasterää voidaan pyörittää joko hydraulisesti tai mekaanisesti ottamalla voima esimerkiksi traktorin ulosotosta. Terä on jaettu kuudesta kahdeksaan osioon halkaisijasta riippuen. Näissä käsinvaihdettavissa osioissa on terän hampaat. Hampaat valmistetaan kovasta materiaalista kuten teräksestä tai tungsten karbidista, joka on kolme kertaa kovempaa kuin tavallinen teräs. Ketjussa käytettävien hampaiden kovuus riippuu maaperän kovuudesta. (Wikipedia 2012.)

Terä on koteloitu turvallisuuden ja maa-aineksen siirtymisen varmistamiseksi. Irtain maa-aines puretaan purkuaukon kautta uran viereen. (Hydrapower 2012.) Tarvittaessa voidaan maa-aines siirtää kuljetinhihnalla suoraan ajoneuvoon (Marais 2012). Kuvassa 5 olevan jyrsimen kaivussyvyyden säätö hoidetaan hydraulisesti säädettävällä jalalla.



Kuva 5. Jyrsimen pääosat (Hydrapower 2012).

Vermeerin valmistamilla kaapeliojien kaivamiseen soveltuvilla pyörösahoilla kaivussyvyys vaihtelee 50 cm:stä 100 cm:iin. Kaivannon leveyteen ei sahan hammasruksella pystytä niin paljoa vaikuttamaan kuin ketjukaivurilla. Kaivannon leveys vaihtelee 10 cm:stä 30 cm:iin. (Vermeer 2012.)

Pyörösaha voidaan asentaa suoraan omaan ajoneuvoonsa tai sitten se voidaan asentaa lisälaitteena esimerkiksi kaivinkoneen puomiin, traktorin perään tai kuorma-autoalustaisen maanrakennuskoneen lisälaitteeksi.



Kuva 6. Erilaisia pyörösahan asennusvaihtoehtoja (Aardvardk Equipment Ltd 2012; Ditch Witch 2012; Marais Lucas Technologies 2012).

Australialainen Aardvark Equipment Ltd valmistaa maataloustraktoreihin kiinnitettäviä pyörösahoja, jotka tekevät kaikki kaapelin tai putken asennukseen liittyvät työvaiheet yhdellä kertaa. Niillä pystytään rakentamaan jopa 600 metriä valmiita linjaa tunnissa. (Aardvardk Equipment Ltd 2012.) Kooltaan ja ulkonäöltään laitteet muistuttavat Suomessa käytettäviä salaojituskoneita, ja niihin töihin ne soveltunevatkin parhaiten.

3.1.3 Kenttäkokeet

Vuoden 2012 maaliskuussa testattiin Lännen Tractorsin maahantuomaa pyörösahaa Vehmaalla ja Porissa Voimatel Oy:n valokuitutyömaiden yhteydessä. Kokeissa käytetty pyörösaha oli ruotsalaisen Rf-Systemin valmistama. Kokeiden tarkoituksena oli tutkia sahan soveltuvuutta Suomen oloihin. Lännen Tractorsin on tarkoitus edelleen kehittää ja parantaa sahan toimintaa käyttäjiltä saatujen kokemusten perusteella.



Kuva 7. RF-Systemin pyörösaha kaivinkoneeseen kiinnitettynä Vehmaalla.

Kuvassa 7 on pyörösaha kiinnitettynä 16 tonnin kaivinkoneen puomiin. Koetilanteessa saha pureutui routaiseen asfalttipintaiseen tiehen hyvin. Ongelmiksi muodostuivat maaperän heterogeenisuus ja sahan rakenne. Vehmaalla tien rakenteessa oli käytetty mursketta. Sahan osuessa tien rakenteessa oleviin kiviin hypähti se pois sahausurasta. Haasteelliseksi tilanteen teki heilahdusten voimistuminen kaivinkoneen ohjaamossa. Voimistuminen johtui sahan suuresta painosta ja etäisyydestä ohjaamoon.

Porissa tien rakenteessa oli käytetty soraa. Sahauspaikka oli Porissa aukealla ja tien rakenne vaikutti olevan vähemmän jäässä. Saha pureutui tiehen helposti. Poikkileikkaukseltaan 6 metriä leveän tien sahaaminen kesti 12 minuuttia. Pyörösaha oli kiinnitetty Lännen Tractorsin 8800 -malliseen kaivurikuormaajaan, jonka kaivupuomi on selkeästi lyhyempi kuin Vehmaalla käytetyssä koneessa. Kaivupuomin lyhyydestä johtuen saha oli lähempänä koneen runko-osaa. Tästä ja kaivurikuormaajan matalammasta painopisteestä johtuen ei saha aiheuttanut juuri ollenkaan koneen heilumista. Kuvassa 8 on Porissa testattu yhdistelmä.



Kuva 8. Lännen 8800 ja pyörösaha.

Sahan pyörimisnopeuden kasvattaminen ei tehostanut sahan uppoamista maahan. Suurempi merkitys on hydraulijärjestelmän työpaineella. Lännen 8800 – kaivurikuormaajan hydraulijärjestelmän työpaine on 225–245 baria (Lännen tractors 2012). Vehmaalla käytetyn CAT 315 -kaivukoneen työpaine on 350 baria (CAT 2012). Vaikka sahattava maa oli Porissa pehmeämpää, pysähtyi saha kun sitä painettiin uran pohjaan liian suurella voimalla. Pysähtyminen johtui nimenoimaan liian pienestä työpaineesta.

Sahanterä on kiinnitetty keskeltä hydraulipumppuun. Pumpun suojaksi ja suurimman sahausvyöden rajoittimeksi on rakennettu kotelo, joka on samalla suksi, joka edesauttaa pyörösahan liukumista. Sahan nosttaessa irrotetun maaineksen välittömästi uran viereen levittää suksi irtomaan siten, että osa irtomaasta valuu takaisin kaivantoon. Tällöin vaaditut asennussyvydet eivät automaattisesti täyty vaan uraa joudutaan edelleen tyhjentämään. Lisäksi suksi kulkee suoraan irrotetun maan päällä. Tämä madaltaa uraa edelleen. Muuttamalla rakenteellisesti sahaa siten, että irtomaa ohjautuu riittävän etäälle sahatusta urasta, parannettaisiin sen käyttöominaisuuksia.

Nykyisin voimassa olevien asennussyvyyksien saavuttaminen kasvattamalla sahanterän halkaisijaa ei ole aivan ongelmatonta. Halkaisijan suurentaminen lisää sahan painoa ja kokoa, jolloin kaivinkoneen heiluminen jälleen voimistuu. Koneen koon kasvaessa ei se välttämättä sovellu käytettäväksi alueilla, joissa on paljon ihmisiä, kuten kaupunkien keskustoissa.

Kokeen perusteella voidaan todeta, että pyörösahalla pystytään sahaamaan nopeasti kovaankin maahan kaapelireitti. Mikäli vaihtoehtona on kaivaminen, on sahaaminen selkeästi nopeampi ja ympäristöä vähemmän kuormittava tapa uran tekemiseen. Auraaminen on kuitenkin pehmeällä maalla toimittaessa nopeampaa. Pyörösahaa voidaan kuitenkin käyttää esimerkiksi liittymien ylittämiseen. Koska liittymissä ei auraaminen onnistu tierakenteen läpi, voidaan ylitettävään tiehen sahata ura. Uran pohja on yleensä niin pehmeä, että kaapeli voidaan asentaa vaadittuun syvyyteen auraamalla uraa pitkin.

Hinnaltaan kokeissa käytetty saha on noin 20 000 euroa. Sahassa on 80 hammasta, joiden hinta on noin 3 euroa kappale. (Rf-System AB 2012.) Hampaiden kuluminen riippuu sahattavasta maaperästä, eikä mitään tarkkaa vaihtoväliä pysty ennustamaan. Sarjan hinta on kuitenkin aika pieni. Tämän testissä käytetyn sahan hankintaa kannattaa harkita tarkkaan, sillä se ei rakenteellisesti vastaa käyttäjän tarpeita eikä sillä pystytä saavuttamaan tällä hetkellä vaadittua asennussyvyyttä ilman ylimääräisiä työvaiheita.

3.2 Mikro-ojitus

Mikro-ojitus (*micro trenching*) on Suomessa vasta kokeiluasteella oleva työmenetelmä. Maailmalla menetelmää on käytetty muutamia vuosia. Käyttökokemuksia menetelmästä on saatu kuitenkin siinä määrin vähän, että täysin varauksettomasti menetelmään ei suhtauduta muuallakaan. Ongelmat ja haasteet ovat samoja kuin Suomessa; rakenteiden kestävyys, vanhojen rakenteiden kestävyys ja huolto sekä asennussyvyydestä aiheutuvat ongelmat. (Broadband Properties 2009.)

Vaikka menetelmä on verrattain uusi, on se osoittautunut nopeaksi ja edulliseksi menetelmäksi. Menetelmän hyvä puolena on myös ympäristövaikutusten vähäisyys. (Team Fishel 2011.) Suomessa menetelmää on käytetty Elisan ja Soneran työmailla Kangasalla ja Naantalissa (Elisa 2011, Sonera 2011). Elisan kohteen Kangasalla toteutti Eltel Networks Oy (Anttonen 2011).

Menetelmänä mikro-ojitus on samankaltainen kuin maasahaus. Maahan sahattavan uran koko on merkittävästi pienempi verrattuna varsinaiseen maasahalla tehtyyn kaivantoon. Mikro-ojaan voidaan asentaa valokuitukaapeli tai mikroputket, joihin kuidut asennetaan jälkikäteen. Pohjalle asennetun kaapelin tai putken päälle valetaan laasti tai jokin muu täyteaine (Broadband Properties 2009.) Täytteenä käytettävä massa voidaan värjätä esimerkiksi punaiseksi. Laasti toimii varoitusnauhan tapaan varoittaen tulevia kaivajia. (Alpitel 2012.) Viimeisenä pinta viimeistellään alkuperäisellä pinnoitteella. Kuvassa 9 on poikkileikkaus mikro-ojasta, jossa on käytetty mikroputkia ja värjättyä laastia.



Kuva 9. Poikkileikkaus mikro-ojasta (Alpitel 2012.)

Mikro-ojitukseen tarkoitettut maasahat ovat kooltaan pieniä, mutta rakenteeltaan ja materiaaleiltaan ne vastaavat isompia maasahoja. Marais-yhtiön valmistamien nimenomaan mikro-ojitukseen valmistamien työkoneiden tekemien urien leveydet vaihtelevat 10 mm:stä 120 mm:iin. Sahaussyvyys on keskimäärin 300 millimetriä, mutta ura voidaan sahata jopa 480 mm syväksi. (Marais 2012.) Myös muiden valmistajien, kuten i3, Ditch Witch ja Vermeer, tuotteilla saadaan aikaan saman kokoisia uria. Terien hammastusta muuttamalla voidaan samalla laitteella tehdä eri levyisiä uria.

Ditch Witch valmistaa kokonaista mikro-ojitusyksikköä, johon sisältyy kone, johon saha on kiinnitetty, varsinainen saha erilaisine sahanterineen sekä imuyksikkö. Imuyksikköä käytetään sahatun uran puhdistamiseen ja sahaamisen aiheuttaman pölyn keräämiseen. Saha voidaan kiinnittää eri alustoille asiakkaan tarpeiden mukaan. (Ditch Witch 2012.) Niin ikään yhdysvaltalainen Vermeer valmistaa saman tyyppistä kokonaisuutta. Vermeerin kokonaisuuteen kuuluu vielä laastinsekoitin. (Vermeer 2012.) Kuvassa 10 on Alpitel-yhtiön omaa Quick trenching -menetelmää varten valmistama maanrakennuskone, johon on yhdistetty kaikki mikro-ojituksen eri työvaiheisiin tarvittavat laitteet. Urasta irtoava aines puretaan laitteen oikealle puolelle. Irtoaines siirretään sahatusta urasta kauemmas harjalla, jonka jälkeen se on kerättävä erillisellä koneella pois. (Alpitel 2012.)



Kuva 10. Mikro-ojittaja (Alpitel 2012.)

Työsaavutuksena mikro-ojia rakennettaessa on 300–500 metriä päivässä. Säävutus sisältää uran leikkaamisen, kaapelin asennuksen, uran täytön ja pinnoitteen. (Kirjavainen 2011.) Menetelmä on selvästi nopeampi kuin perinteiset menetelmät. Myöskään maasahoilla ei saada aikaan yhtä suurta työsaavutusta.

3.3 Mikroputkitus

Mikroputkitus tai mikrokaapelointi on valokuitujen asennusmenetelmä, jossa käytetään hyväksi valokuidun pientä pinta-alaa. Mikroputkia valmistavat useat eri yritykset kuten Ericsson, Wavin-Labko ja Draka. Vaikka valmistajia on paljon, ovat putkijärjestelmät samankaltaisia.

Kuvassa 11 on Ericssonin valmistaman Ribbonet- järjestelmän mikroputkisto. Muoviputken ympärillä on alumiinivaippa, jonka sisällä eriväriset mikroputket ovat. Putkien värikoodaus helpottaa kuitujen asennusta. Valokuitukaapelit asennetaan yksittäisiin putkiin. Kuinka monta kuituparia sisältävä kuitukaapeli voidaan putkeen asentaa riippuu putken halkaisijasta, koska kaapelin halkaisija

kasvaa kuituparien määrän lisääntyessä. Esimerkiksi Drakan valmistamaa erityisesti mikrokanava-asennuksiin tarkoitettua FZRMU-FT NanoFlex 12x12xSML valokuitukaapelia voidaan asentaa sisähalkaisijaltaan minimissään 10 mm olevaan kanavaan. (Draka 2012.)



Kuva 11. Mikroputki (Reinikoski 2006.)

Kuitukaapelien asennus putkiin tapahtuu puhaltamalla paineilman avulla tai vetämällä. Käytettäessä mikroputkia voidaan reitin kapasiteettia kasvattaa ja mahdollisesti vaurioituneita kuituja vaihtaa myöhemminkin. (Broadband Properties 2009.) Vaurioituneen kuidun korjausta nopeampaa on asentaa uusi kuitu puhaltamalla kuin poistamalla vanha kuitu ja korjaamalla sitä (Reinikoski 2011).

Perinteiseen kaapelointiin verrattuna saavutetaan puhalluskuituja käyttämällä noin 30–50 %:n kustannussäästö. Säästö muodostuu seuraavista asioista:

- Hitsattavien liitosten määrä on pienempi, jolloin asennusaika lyhenee
- Materiaalihallinta on helpompaa
- Aloituskustannukset ovat pienemmät, koska asennetaan vain mitä tarvitaan
- Kaapeloinnissa on vähemmän vaurioherkkiä kohtia
- Laajennettaessa verkkoa suurin osa töistä on jo tehty (Reinikoski 2011.)

Mikroputkitusta voidaan käyttää sekä rakennuksissa, että ulkona. Tavanomaiset ulkokäyttöön tarkoitetut valokuitukaapelit eroavat sisäkäyttöön tarkoitetuista kuitukaapeleista esimerkiksi veto- ja puristuskestävyydeltään. Sisäkaapelin suurin

sallittu puristusvoima 100 mm:n laatalla on 2000 N. Ulkokaapelin suurin sallittu puristusvoima on 4000–8000 N. (Onninen 2008, 122.) Laadukkaimmatkin mikrokanavakaapelit ovat mekaanisilta ominaisuuksiltaan sisäasennuskaapelin luokkaa. Ne ovat vain paremmin vedeltä ja kosteudelta suojattuja. (Koivisto 2011.)

Maahan asennetut kuitukaapelit joutuvat samanlaisten rasitusten alle riippumatta niiden kestävydestä. Maaperässä kaapeleihin vaikuttaa veto, puristus, vesi eri muodoissaan, lämpötila ja erilaisten toimenpiteiden vaikutukset. (Koivisto 2011.) Suomen oloissa erityisesti kosteuden kestolla ja puristus- ja vetolujuuksilla on merkitystä, koska maan routiminen voi aiheuttaa vetoa tai puristusta kuitukaapeliin tai asennusputkeen. Vettä taas on suomalaisessa maaperässä aina, joten kuitukaapelien ja asennusputkien on kestävä kosteuden ja varsinaisen veden aiheuttama rasitus.

4 LUPAVIRANOMAISEN NÄKEMYS

Rakentaminen on luvan varaista toimintaa. Kaapeleiden, johtojen ja putkien rakentamiseen tiealueelle ja niiden tiealueella tapahtuvaan huoltoon tarvitaan aina lupa tienpitäjältä (ELY-keskus 2012). Kunnan hallinassa olevien katujen ja teiden osalta luvat myöntää asianomainen kunta.

Maankäyttö- ja rakennuslain 12. luvun 84. §: n mukaan kadunpito käsittää kadun suunnittelemisen, rakentamisen ja sen kunnossa- ja puhtaanapidon sekä muut toimenpiteet, jotka ovat tarpeen katualueen ja sen yläpuolisten ja alapuolisten johtojen, laitteiden ja rakenteiden yhteen sovittamiseksi. Kadunpidon järjestäminen kuuluu kunnalle. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999.)

Telekaapeleiden sijoittamista maantien alueelle koskevat lähinnä viestintämarkkinalaki (393/03) sekä maantielaki (503/2005) ja maankäyttö- ja rakennuslaki (132/99). Viestintämarkkinalain 101 §:n 1 momentin mukaan telekaapeli on mahdollisuuksien mukaan sijoitettava maantielaisissa tarkoitettulle tiealueelle tai kiinteistönmuodostamislaisissa tarkoitettulle yleiselle alueelle. Maantielain 42 §:n 1 momentin mukaan tiealueeseen kohdistuva työ sekä rakennelmien, johtojen ja muiden laitteiden sijoittaminen tiealueelle vaatii tienpitöviranomaisen luvan. Lupa voidaan myöntää, jos toimenpiteestä ei aiheudu vaaraa liikenteelle eikä haittaa tienpidolle. Telekaapelireittiä suunniteltaessa on otettava yhteys tienpitäjään. Tienpitäjän esittämät liikenne- ja rakennusteknilliset sekä tien kunnossapitoon vaikuttavat näkökohdat on otettava huomioon tienpidon ja teletoiminnan kannalta edullisimman ratkaisun saavuttamiseksi. (Tiehallinto 2009.)

Tähän työhön liittyen on haastateltu puhelimitse eri kuntien sekä Liikenneviraston edustajia. Tarkoituksena oli selvittää miten hyvin matala-asennus tunnetaan menetelmänä, onko sitä käytetty kyseisen organisaation toimialueella ja millaiset kokemukset käytöstä on saatu, sekä millä reunaehdoilla menetelmää voitaisiin tulevaisuudessa käyttää. Lisäksi selvitettiin mitä ongelmakohtia ja haasteita työmenetelmään liittyy lupaviranomaisten mielestä.

Tällä hetkellä lupia myöntävien viranomaisten kannat matala-asennusten sallimiseen ovat osin kielteisiä ja osin taas varovaisen myönteisiä. Osa kunnista

odottaa Rakennustiedon tekemän ohjeistuksen valmistumista. Taulukoon 1 on koottu Turun alueen kuntien ja ELY-keskuksen kannat matala-asennukseen.

Taulukko 1. Lupaviranomaisen kanta matala- asennuksiin (R. Saari henkilökohtainen tiedonanto 9.3.2012; M. Miettula, henkilökohtainen tiedonanto 9.3.2012; M. Hirvi, henkilökohtainen tiedonanto 8.3.2012; M. Uusitalo, henkilökohtainen tiedonanto 1.3.2012; P. Virtanen, henkilökohtainen tiedonanto 7.3.2012; J. Suominen, henkilökohtainen tiedonanto 8.3.2012 ja K. Lehtonen, henkilökohtainen tiedonanto 21.3.2012.)

Toimija	Kanta matala-asennukseen
Kaarina	Menetelmää ei tunnettu, koska aikaisempia kohteita ei ole toteutettu. Suhtautuminen menetelmään on varovaisen positiivista. Suurimpina haasteina nähtiin kaapelin korkeusasema ja sen vaikutus jälkeensä tehtäviin töihin. Mihin kohteisiin menetelmä sopii, on tarkoin harkittava.
Lieto	Menetelmä on tuttu, mutta kohteita ei ole toteutettu. Matala-asennuksen syvyytenä pidetään mieluusti 50 cm:ä. Haasteena koetaan roudan ja muiden rakenteiden vaikutukset kohteessa. 30 cm:ä liian matala asennussyvyys. Menetelmässä on paljon hyvää, mutta huonoakin.
Naantali	Menetelmä on tuttu. Naantalissa on toteutettu yksi kohde, jonka seurauksena on syntynyt negatiivinen suhtautuminen työmenetelmään. Seuraava kohde on tarkkaan harkittava. Toteutetun kohteen jälkitöiden määrä on ollut suuri johtuen työn aikana vahingoitettujen katuvalokaapeleiden ja kaukolämpöverkon korjaamisesta. Kokemusten perusteella soveltuu paremmin vapaampaan maastoon, ei olemassa olevan infran päälle. Alkutyöt hoidettava erittäin tarkasti. Reitti maalattava maastoon ja sillä on pysyttävä. Positiivista on työn nopea eteneminen.
Raisio	Työmenetelmä on tuttu, mutta omassa kunnassa ei kohteita ole toteutettu. Suhtautuminen on varovaisen myönteistä. Paikka missä menetelmää käytetään, on harkittava tarkkaan. Haasteina nähdään rakenteiden kestävyys erityisesti, jos mennään sitomattomaan kerrokseen. Myös muiden rakenteiden käyttö ja asennuksen mahdollinen matala-asennussyvyys herättivät kysymyksiä. Naantalin kohteen seuraaminen vaikuttaa myös Raision kantaan.
Salo	Kanta on jyrkän kielteinen. Asennussyvyys on telekaapeleilla 70 cm, pois lukien poikkeustapaukset. Huolena on vastuu vika- tai vahinkotilanteessa.
Turku	Menetelmä on tuttu, mutta kohteita ei ole toteutettu. Suhtautuminen positiivista. Koeluontoisesti voidaan kohteita toteuttaa, mutta ensin odotetaan virallista ohjeistusta asiaan. Paikka kohteelle harkittava tarkkaan.
Liikennevirasto	Tällä hetkellä kanta on kielteinen 30 cm:n matala-asennuksiin. Tarkoituksena asentaa kokeiluluontoisesti muutamassa kohteessa kallio-/louherakenteeseen omia telematiikkakaapeleita 15 cm:ä päällysteen alapuolelle tukipientareelle. Asennus tapahtuu maasahalla tehtyyn uraan. Kokemusten perusteella katsotaan miten jatkossa toimitaan.

Menetelmänä matala-asennus on jossain määrin tuttu. Ainoastaan Kaarinassa ei menetelmästä ollut aikaisemmin kuultu. Aihetta on tehnyt tunnetuksi esimer-

kiksi Elisa Oyj:n pitämät esittelytilaisuudet. Käynnissä olevat selvitystyöt Rakenustiedon ja Rambollin toimesta ovat myös lisänneet tietämystä aiheesta. Väähäiset kokemukset matala-asennuksista Suomessa aiheuttaa epäilyksiä. Epäilykset kohdistuvat rakenteiden keston ja käyttäytymiseen vuoden aikojen vaihtelun aiheuttamien vesi- ja lämpötila kuormitusten muutosten vuoksi. Menetelmän hyvänä puolena pidetään ympäristövaikutusten pienenemistä ja työn nopeaa etenemistä.

Salossa kanta matala-asennuksiin on kielteinen. Myös Liedossa pidetään parempana tapana asentaa kaapelit vähintään 50 cm:n syvyyteen. Muissa haastelluista kunnista suhtautuminen on varovaisen myönteistä. Naantalissa myönteinen kanta on muuttunut lievästi kielteiseksi huonojen kokemusten vuoksi. Liikennevirasto suhtautuu tällä hetkellä kielteisesti matala-asennukseen sekä tien pituus- että poikittaissuunnassa.

Naantalissa syksyllä 2011 toteutettu matala-asennuskokeilu ei ollut sujunut hyvin. Ongelmia oli aiheutunut katuvalojen sähkökaapelien poikkisahaamisesta. Samoin kaukolämpöverkolle oli aiheutettu vaurioita sahaamalla kaukolämpökai-von läpi ja kaukolämpöputkiin. Sahattu ura oli myös kulkenut sovitun reitin ulkopuolella, koska reitillä oli ollut autoja. Naantalin kokemusten perusteella matala-asennuksen valmistelu on tehtävä erityisellä huolella olemassa olevien rakenteiden selvittämisen ja reitin suunnittelun osalta. Reitti on mieluiten maalattava maahan, eikä siltä saa poiketa.

Myös Liikennevirasto kokee ongelmalliseksi rakenteen kestävyuden uran sahaamisen jälkeen. Jos ura sahataan sitomattomaan kerrokseen, ei kerrosta pystytä tiivistämään riittävästi, jolloin irtain maa-aines valuu päällysteen alta jät-täen tyhjän tilan. Tyhjään tilaan pääsevä vesi aiheuttaa jäätyessään päällyste-vaurioita. Mikäli kaapeli asennettaisiin sidottuun päällystekerrokseen erittäin ma-talalle, vain 15 cm:n syvyyteen, aiheutuu ongelmia päällystettä uusittaessa. Käytet-täessä vanhaa päällystemassaa uuden massan lisäksi irrotetaan vanha massa lämmittämällä. Jos kaapelit asennetaan matalalle, voivat ne vaurioitua lämmön vaikutuksesta.

Liikenteen aiheuttamat kuormitukset saattavat vaurioittaa matalalle, lähelle ajorataa asennettuja kaapeleita. Tienpitäjän kannalta on parempi, että kaapelit pysyvät ehjinä. Tämän takia telekaapelit asennetaan tien sisä- tai ulkoluiskaan. Luiskiin kohdistuu yleensä vain niittotoimenpiteitä, eikä liikennekuormat normaalitilanteessa kohdistu luiskiin. Onnettomuustilanteet ovat asia erikseen. Asentamalla kaapelit riittävän syväälle ei onnettomuudetkaan välttämättä vauriota kaapeleita. Kaapelien korjaus aiheuttaa haittaa liikenteelle ja jos korjaukset tehdään kauempana ajoradasta tai niitä ei tarvitse tehdä ollenkaan on tilanne liikenteen sujuvuuden kannalta parempi.

Liikennevirasto on tekemässä omia kokeiluja tiedon ja kokemusten keräämiseksi. Se aikoo asentaa kallio- tai louherakenteeseen omia telematiikkakaapeleitaan muutamassa kokeilukohteessa. Tien poikkileikkauksessa kaapelit tullaan asentamaan 25 cm leveälle tukipientareelle 15 cm päällysteen alareunan alapuolelle. Asennusura tehdään maasahalla valmiiseen rakenteeseen. Kaapeleiden sijoittamisessa tukipientareessa on ongelmana se, että aurasviitat asennetaan tukipientareesta 10 cm etäisyydelle sisäluiskan puolelle. On siis olemassa vaara, että aurasviittaa asennettaessa katkaistaan valokuitukaapeli.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tele- ja sähköverkkojen rakentaminen maahan jatkuu tulevina vuosina kiivaana. On tärkeää, että ala pyrkii kehittämään toimintaansa paremmaksi ja tehokkaammaksi. Tehokkuutta voidaan parantaa:

- ottamalla käyttöön ympäristövaikutuksiltaan pienempiä menetelmiä
- käyttämällä menetelmiä, joita voidaan käyttää ympärivuotisesti
- rakentamalla toiminnalliset vaatimukset pitkään täyttyviä rakenteita
- käyttämällä kestäviksi tiedettyjä materiaaleja

Toiminnan ja uusien menetelmien kehittämisen tulee tapahtua siten, että hyöty kehittämisestä kohdentuu kaikille alalla toimiville, ei pelkästään operaattorille tai urakoitsijalle.

Täryauroilla ja maasahoilla voidaan tarvittavia kaivantoja tehdä kovempiinkin maalajeihin. Maasahoilla voidaan sahata myös routaantunutta maata ja kiinteitäkin rakenteita. Maasahoja on tarvittaessa kehitettävä siten, että ne ovat käyttäjäystävällisiä ja riittävän tehokkaita. Samanaikaisesti niillä on pystyttävä tekemään rakenteita, jotka täyttävät ohjeiden ja normien vaatimukset.

Maanrakennuksen kustannuksia pystytään pienentämään valitsemalla sopivin menetelmä työkohteeseen. Lupia myöntävät viranomaiset voivat asettaa reunaehdot myöntämilleen luville. Jotta kaikkia menetelmiä kohdeltaisiin tasa-arvoisesti, on viranomaisia ohjaava ohjeistusta uudistettava.

Tien- ja kadunpitäjät tarvitsevat tietoa, miten matala-asennukset vaikuttavat tie- ja katurakenteisiin niin maanpinnalla kuin maanpinnan alapuolellakin. Kokeilu-kohteissa on seurattava ja selvitettävä seuraavia asioita:

- Miten tie- ja katurakenteet kestävät asennusuriin mahdollisesti pääsevän veden haitallisen vaikutuksen?
- Miten olemassa olevat tele-, sähkö- ja kaukolämpörakenteet kestävät uusista menetelmistä johtuvat lisääntyneet rasitukset?

- Miten ratkaistaan olemassa olevien tele- sähkö- ja kaukolämpö- rakenteiden ylläpito. Miten toimitaan, jos vanhojen kaapeleiden päälle asennetaan lisää kaapeleita, jotka päällystetään betonilla? Erityisesti mahdollisten korjauskustannusten jakaantuminen eri toimijoiden kesken on selvitettävä.

Valokuituverkossa käytettävät kuitukaapelit on suunniteltu kestäväksi tiettyjä rasituksia. Mikro-ojituksessa käytettävät kuitukaapelit ovat ominaisuuksiltaan heikompia kuin varsinaiset kuitukaapelit. Matalampi asennussyvyys tarkoittaa suurempaa roudasta ja liikenteestä aiheutuvaa kuormitusta kaapelille. On pohdittava, kestävätkö uuden tyyppiset kaapelit näitä kuormituksia koko suunnitellun käyttöikänsä.

Erityisesti kaivamisesta aiheutuu suuret jäljet ympäristöön. Kaivantojen täyttö- ja pintojen entisöintikustannukset muodostavat suuren osan kokonaiskustannuksista. Tekemällä kapeampia kaivantoja voidaan kustannuksiin vaikuttaa pintamateriaalista riippuen paljonkin. Asentamalla valokuitukaapelit 30 cm syvyyteen säästettäisiin kustannuksissa täyttöjen määrän ja kaivuun vaatiman ajan pienentyessä.

Uudet menetelmät eivät pysty täysin korvaamaan perinteisiä menetelmiä. Perinteiset menetelmät ovat hyviä ja toimiviksi todettuja menetelmiä eikä niiden käyttöä tule lopettaa. Menetelmiin liittyvät ongelmat ovat tiedossa ja ne osataan ottaa toiminnassa huomioon. Uudet menetelmät vaativat kehittelyä ja käyttökokemuksia, jotta ne saadaan toimimaan Suomen oloissa parhaimmalla mahdollisella tavalla. Käyttämällä perinteisiä ja uusia menetelmiä toisiaan täydentävinä vaihtoehtoina pystytään verkonrakennuksen kustannuksia ja ympäristövaikutuksia pienentämään.

LÄHTEET

- Aardvardk Equipment Ltd 2012. Rock wheel trenchers. Viitattu 1.2.2012
<http://www.aardvarkequipment.co.uk/RockwheelTrenchers/RockwheelTrenchersRWT100.htm>.
- Alpitel 2012. Quick Trenching and Multiduct. Viitattu 16.2.2012
<http://www.alpitel.it/Quick%20Trenching%20e%20Multi%20Ducteng.htm>.
- Anttonen R. 2011. Eltel otti mikro-ojitusteknologian käyttöön tietoliikenneverkkojen rakentamisessa. Rakennuslehti. Viitattu 16.2.2012
<http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/infra/25541.html>.
- Autokanta 2011. Routa pois huomaamattomasti. Viitattu 31.03.2012
http://www.autokanta.com/koneporssi/tekniikka_ja_koeajot/koneet/maarakentamisen_lisalaitteet/?x131949=2980869.
- Avant 2012. Ketjukaivurit. Viitattu 27.1.2012
<http://www.avanttecono.com/www/index.php?PAGE=58&LANG=1&series=1&pid=17>.
- Bobcat 2012. S185 Skid-steer loader. Viitattu 19.03.2012
<http://www.bobcat.com/loaders/models/skidsteer/s185>.
- Bradco 2001. 617 Trencher – all skid steer applications. Viitattu 26.1.2012
<http://www.paladinlightconstructiongroup.com/pdf/Manuals/Bradco/617%20Trencher%20Operator%20and%20Parts%20Manual.pdf>.
- Broadband Properties 2009. Improving Micro-Trenching:The Vision Becomes Reality. Viitattu 16.2.2012
http://www.bbpmag.com/2009issues/sep09/BBP_Sep09_Quanta.pdf.
- CAT 2012. 315D L Hydraulic Excavator. Viitattu 22.03.2012
<http://www.cat.com/cda/layout?m=308553&x=7>.
- Constructionweek.com. Pipe down. A history of trenching machines. Viitattu 26.1.2012
<http://www.constructionweekonline.com/article-4509-pipe-down-a-history-of-trenching-machines/>.
- Ditch Witch. MT12 Microtrencher. Viitattu 16.2.2012
<http://www.ditchwitch.com/trenchers-plows/ride-on/mt12-microtrencher/>.
- Doosan bobcat 2012. Wheel saw attachment. Viitattu 19.03.2012
http://www.doosanbobcat.cl/PDF/aditamentos/Wheel_Saw.pdf.
- Draka 2012. FZRMU-FT NanoFlex Mikrokanavavalokaapeli. Viitattu 17.2.2012
<http://www.sahkonumerot.fi/0202119/doc/brochure/>.
- Elisa Oyj 2011. Elisa ottaa ensimmäisenä käyttöön uuden, ympäristöystävällisen teknologian verkon rakentamisessa. Viitattu 16.2.2012
<http://www.elisa.fi/ir/pressi/index.cfm?t=100&o=5120&did=17308>.
- ELY-keskus 2012. Kaapelit, johdot ja putket tiealueella. Viitattu 31.03.2012
<http://www.ely-keskus.fi/fi/Liikenne/Lupaasiat/Kaaelitjohdotputket/Sivut/default.aspx>.
- Hydrapower 2012. "CW" Skid Steer Rock Wheels. Viitattu 31.1.2012
http://www.hydrapower.com.au/rock_wheels.htm.
- InfraRYL 2010. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset osa 1 väylät ja alueet. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Johdin 2009. Auraus säästää aikaa rahaa ja ympäristöä. Viitattu 19.1.2012
<http://www.digipaper.fi/johdin/29606/index.php?pgnumb=18>.

Kauhoja 2010. Kaapelikauha. Viitattu 31.03.2012 <http://www.kauhoja.net/kaapelikauhat.html>.

Kirjavainen A. 2011. Micro trenching urakoitsijan näkökulmasta. Powerpoint-diat. Relacom Finland Oy.

Koivisto P. 2011. Kaapelien asennusmenetelmät- standardointi. Powerpoint-diat. Pekka Koivisto Oy.

Koneurakointi 2010. Ketjukaivuri eli maasaha tuo uutta tehokkuutta mm. paineviemärien, vesijohtojen ja kaapeleiden vetoon. Viitattu 26.1.2012
http://www.several.fi/images/etusivu/lehti_ketjukaivuri.pdf.

Kuivanen M. 2009. Maanrakennusliikkeen kalusto, sen ylläpito ja hankinta. Viitattu 22.03.2012
<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9504/Kuivanen.Mika.pdf?sequence=2>.

Lancier Cable gmbh 2012. Product Information Cable Plough – Plough Blade Features. Viitattu 14.2.2012
[c/downloads/Cable_plough_blade_features_GB.pdf](http://www.lancier-cable.com/downloads/Cable_plough_blade_features_GB.pdf).

Lancier Cable gmbh 2012. Vibration cabling mole-ploughs. Viitattu 14.2.2012
http://www.lancier-cable.com/downloads/prospekt/GE_4.pdf.

Lännen tractors 2012. Lännen tuotteet 8800G. Viitattu 22.03.2012
<http://www.lannencenter.com/fi/tuotteet/lannen/8800g>.

Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999. Viitattu 14.03.2012.

Marais 2012. Wheel trenchers with lateral loading system of excavated materials. Viitattu 31.03.2012
http://www.samarais.com/en/our_offers/the_range/wheel_trenchers.html?idMachine=25.

Marais 2012. Micro trenchers. Viitattu 16.2.2012
http://www.samarais.com/en/our_offers/the_range/micro_trenchers.html.

Marais-Lucas Technologies 2012. Cleanfast. Viitattu 05.03.2012
<http://www.maraislucas.com.au/images/maraislucas/brochures/Marais-Lucas-Cleanfast.pdf>.

Onninen. Optiset liityntäverkot 2008. 2. painos. Helsinki.

Pipelines international 2009. Advantages and limitations of using chain trenchers in rock. Viitattu 26.1.2012
http://pipelinesinternational.com/news/advantages_and_limitations_of_using_chain_trenchers_in_rock/008036/.

POME 2011. Mittataulukko 2011. Viitattu 14.2.2012
<http://www.pome.fi/uudet/index.php/mittataulukko>.

Rakentaja.fi 2012. Palkkalaskuri. Viitattu 23.03.2012
<http://www.rakentaja.fi/indexfr.aspx?s=suorakanava/laskurit/palkkalaskuri.asp>.

Reinikoski H. Putki mikrokaapeleille. Viitattu 17.2.2012
http://www.kainuu.fi/UserFiles/File/Kainuu/Seminaarit/Hannu_Reinikoski_011106_Suunnittelu%20ja%20topologia.pdf.

Reinikoski H. 2011. Uusien kaivumenetelmien toteutus. Powerpoint-diat. Reiniko Oy.

RF-System AB 2012. Prislsta 2012. Viitattu 22.03.2012 http://www.rf-system.se/store/pdf/2012_web.pdf.

Sahlins 2012. Vibrating plough 4080. Viitattu 31.03.2012 <http://www.sahlins.com/PDF/4080-4081.pdf>.

Several 2012. Vermeer T1255 Commander 3 ketjukaivuri. Viitattu 26.1.2012 <http://www.several.fi/brands/vermeer/ketjukaivurit/t1255c3/index.html>.

Sonera 2011. Sonera asentaa valokuitua uudella ympäristöä säästävällä mikro-ojitusteknologialla. Viitattu 16.2.2012 <http://uutishuone.sonera.fi/2011/11/15/sonera-asentaa-valokuitua-uudella-ymparistoa-saastavalla-mikro-ojitusteknologialla/>.

Suomen kuntaliitto. Kunnallisteknisten töiden yleinen työselostus 02. 1. painos. Helsinki 2002.

Team Fishel 2011. Microtrenching Technology – Doing it better, doing it right!. Viitattu 16.2.2012 <http://www.teamfishel.com/blog/2011/05/microtrenching-technology-%E2%80%93-doing-it-better-doing-it-right/>.

Tiehallinto 1991. Tievalaistus / sähkötiedote nro 2. Kaapelien asennus auraamalla. Viitattu 18.1.2012 http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf2/sahkotiedote_2.pdf.

Tiehallinto 2009. Telekaapelit ja maantiet 2009. Viitattu 14.3.2012 http://www.ely-keskus.fi/fi/Liikenne/Lupaasiat/Kaapelitjohdotputket/Documents/telekaapelit_ja_maantiet_05052011.pdf.

Tietokone 2010. Professori: Suomen laajakaistat eksyneet sivuraiteille. Viitattu 17.1.2012 http://www.tietokone.fi/uutiset/professori_suomen_laajakaistat_eksyneet_sivuraiteille.

Trencor 2012. Breakthrough solutions. Viitattu 31.1.2012 http://www.trencor.com/downloads/Raptor_brochure_web.pdf.

Turun kaupunki 2012. Taksa Turun kaupungin kaduilla ja muilla yleisillä alueilla tehtävistä kaivutöistä perittävistä maksuista. Viitattu 8.2.2012 <http://www.turku.fi/Public/default.aspx?contentid=54498>.

Työ- ja elinkeinoministeriö 2011. Sähköverkon kaapelointiin ja vikojen korjaamiseen lisää vauhtia. Viitattu 16.1.2011 http://www.tem.fi/?105033_m=105014&s=4760.

Vermeer 2012. Vermeer trenchers. Viitattu 31.1.2012 <http://www2.vermeer.com/vermeer/AP/en/N/equipment/trenchers>.

Vermeer 2012. RTX550 Ride-On Tractor with trencher, vibratory plow and rockwheel attachment options. Viitattu 16.2.2012 <http://www2.vermeer.com/vermeer/AP/en/N/equipment/trenchers/rtx550>.

Versalift 2002. Selecting the right trencher. Viitattu 26.1.2012 <http://www.versalifteast.com/articles/selectingtrencher.htm>.

Viestintävirasto 2011. Laajakaista 2015 - Haja-asutusalueiden 100 megan laajakaistahanke. Viitattu 16.1.2012 <http://www.ficora.fi/index/saadokset/ohjeet/laajakaista2015.html>.

Wikipedia 2012. Trencher (machine). Viitattu 26.1.2012 http://en.wikipedia.org/wiki/Trenching_Machine.

Kustannuslaskelmat

Vermeer RTX550

Koneen teho (kW)	49,00		Esitteestä
Hankintahinta	66000,00	€	ALV 0%
Jäännösarvo	29700,00	€	Arvioitu 45%:ksi jälleenhankintahinnasta
Poistoaika	5	Vuotta	
Vuotuinen käyttö	1056,00	Tuntia	Arvioitu seuraavasti 6 kk*22 vrk*8 h
Korko	3,0		Valtiovainministeriön peruskorko + 1,0 prosenttiyksikön marginaali
Kunnossapito	5,0		% uushankintahinnasta
Vakuutukset yhteensä	106,00	€	Liikennevakuutus+vahinkovakuutus
polttoaineen kulutus	6,15	l/h	polttoaineen nimelliskulutus 0.27 kg x moottorin maksimiteho x kuormitusaste
polttoaineen hinta	1,172	€/l	x polttoaineen tiheys 1.163 l/kg
Voiteluaineen kulutus	0,06	kg/h	Keskihinta 15.3.2012
voiteluaineen hinta	1,125	€/kg	Taulukosta
Ajajan tuntipalkka	13,00	€	Vakka-Suomen konerengas
Sivukuluihin	20,54	€	Arvio
Yleiskulut	12,0		sivukulut 58 % palkasta
			% muista kuluista
Poisto	6,88	€/h	hankintahinta-jäännösarvo / käyttöiän aikaiset käyttötunnit
Korko	1,36	€/h	korkoprosentti/ 100*((hankintahinta+jäännösarvo)/2)*1/ vuotuinen käyttö
Vakuutukset	0,10	€/h	Vuosihinta/ vuotuinen käyttö
Polttoaine	7,21	€/h	Kulutus*hinta
Voiteluaine	0,07	€/h	Kulutus*hinta
Kunnossapito	3,13	€/h	Prosenttiosuus*hankintahinta/vuotuinen käyttö
Konekustannukset yhteensä	18,74	€/h	
Kuljettajakustannukset	20,54	€/h	
Yleiskustannukset	4,71	€/h	
Kone-, kuljettaja- ja yleiskustannukset yhteensä	43,99	€/h	Summa eri kustannuslajeista
Hinta (ALV 23%)	54,11	€/h	
Metrihintaa	1,10	€/m	Tuntihinta/ 40
	1,35	€/m	

Bobcat S185

Koneen teho (kW)	46,00		Esitteestä
Hankintahinta	67000,00	€	ALV 0%
Jäännösarvo	30150,00	€	Arvioitu 45%:ksi jälleenhankintahinnasta
Poistoaika	5	Vuotta	
Vuotuinen käyttö	1056,00	Tuntia	Arvioitu seuraavasti 6 kk*22 vrk*8 h
Korko	3,0		Valtiovarainministeriön peruskorko + 1,0 prosenttiyksikön marginaali
Kunnossapito	5,0		% uushankintahinnasta
Vakuutukset yhteensä	106,00	€	Liikennevakuutus+vahinkovakuutus
polttoaineen kulutus	5,78	l/h	polttoaineen nimelliskulutus 0.27 kg x moottorin maksimiteho x kuormitusaste x polttoaineen tiheys 1.163 l/kg
polttoaineen hinta	1,172	€/l	Keskihinta 15.3.2012
Voiteluaineen kulutus	0,06	kg/h	Taulukosta
voiteluaineen hinta	1,125	€/kg	Vakka-Suomen konerengas
Ajajan tuntipalkka	13,00	€	Arvio
Sivukuluihin	20,54	€	sivukulut 58 % palkasta
Yleiskulut	12,0		% muista kuluista
Poisto	6,98	€/h	hankintahinta-jäännösarvo / käyttöiän aikaiset käyttötunnit
Korko	1,38	€/h	korkoprosentti/ 100*((hankintahinta+jäännösarvo)/2)*1/ vuotuinen käyttö
Vakuutukset	0,10	€/h	Vuosihinta/ vuotuinen käyttö
Polttoaine	6,77	€/h	Kulutus*hinta
Voiteluaine	0,07	€/h	Kulutus*hinta
Kunnossapito	3,17	€/h	Prosenttiosuus*hankintahinta/vuotuinen käyttö
Konekustannukset yhteensä	18,47	€/h	
Kuljettajakustannukset	20,54	€/h	
Yleiskustannukset	4,68	€/h	
Kone-, kuljettaja- ja yleiskustannukset yhteensä	43,69	€/h	Summa eri kustannuslajeista
Hinta (ALV 23%)	53,74	€/h	
Metrihintaa	1,09	€/m	Tuntihinta/ 40
	1,34	€/m	